

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Методы и приборы контроля геометрических параметров секторных жил
УДК 620.165.29:621.315.213.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7А	Креков Владимир Игоревич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Фёдоров Е.М.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева И.И.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 12.03.01 Приборостроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК(У)-2	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат
ОПК(У)-4	Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способность обрабатывать и представлять данные экспериментальных исследований
ОПК(У)-6	Способность собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования
ОПК(У)-7	Способность использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации
ОПК(У)-8	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности
ОПК(У)-9	Способность владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-10	Готовность пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-5	Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях
ПК(У)-6	Способность к оценке технологичности и технологическому контролю простых и средней сложности конструкторских решений, разработке типовых процессов контроля параметров механических, оптических и оптико-электронных деталей и узлов
ПК(У)-7	Готовность к участию в монтаже, наладке настройке, юстировке, испытаниях, сдаче в эксплуатацию опытных образцов, сервисном обслуживании и ремонте техники
ПК(У)-8	Способность к расчету норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, инструмента, выбору типового оборудования, предварительной оценке экономической эффективности техпроцессов
ПК(У)-9	Способность к разработке технических заданий на конструирование отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по доводке и освоению техпроцессов в ходе технологической подготовки оптического производства
ПК(У)-11	Способность к организации входного контроля материалов и комплектующих изделий
ПК(У)-12	Готовность к внедрению технологических процессов производства, метрологического обеспечения и контроля качества элементов приборов различного назначения

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ 5.10.2020 Б.Б. Мойзес

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1Б7А	Креков Владимир Игоревич

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №12-46/с от 12.01.2021
---	-------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Цель работы – метода предложить методику решения проблемы ротации секторный жилы при контроле на основе выбранного метода контроля.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Исследовать приборы и методы контроля геометрических параметров секторных жил и выбрать наиболее подходящие

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Гасанов Магеррам Али оглы, профессор ОСГН
«Социальная ответственность»	Авдеева Ирина Ивановна, старший преподаватель ООД

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.10.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Фёдоров Е.М.	к.т.н., доцент		05.10.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7А	Креков Владимир Игоревич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения 2020/2021 учебные года

Форма представления работы:

бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.12.2020	Обзор источников информации	10
25.12.2020	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
30.0.2021	Проведение исследования приборов и методов контроля	20
30.04.2021	Разработка плана структурной схемы прибора для достижения цели ВКР	20
4.06.2021	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
4.06.2021	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
11.06.2021	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Фёдоров Е.М.	к.т.н. доцент		5.10.2020

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 12.03.01 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		5.10.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Приборостроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Точное формулирование проблемы исследования
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2021
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7А	Креков Владимир Игоревич		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки, в которой: 75 страниц машинописного текста, 24 рисунка, 23 таблицы, 30 источников литературы

Ключевые слова: кабели секторного сечения; оптические системы измерения; многокоординатный измеритель; радиационный метод контроля; теневой метод измерения.

Объект исследования: приборы и методы контроля геометрических параметров секторных жил.

Цель работы – выбор наиболее эффективных методов и приборов контроля геометрических параметров секторных жил, с на основе выбранного метода предложить методику решения проблемы ротации секторный жилы при контроле.

В процессе исследования были проведены: теоретический анализ, литературный обзор, разработка структурной схемы измерителя геометрических параметров секторных жил.

В результате исследования были получены теоретические и практические данные по наиболее оптимальным характеристикам многокоординатного измерителя геометрических параметров.

Степень внедрения: проведено исследование.

Область применения: полученные результаты имеют практическое применение для проектирования приборов для контроля кабелей секторного сечения.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» описаны конкурентоспособность, ресурсоэффективность сильные и слабые стороны проекта и их анализ.

В разделе «Социальная ответственность» проанализированы опасные и вредные факторы при работе, проработаны методы их устранения, рассмотрены наиболее вероятные ЧС и способы их избежания.

## Оглавление

Введение .....	12
1. Описание объекта контроля .....	13
1.1. Технология производства кабелей.....	13
1.2 Виды кабелей.....	14
1.3 Секторные жилы .....	15
2. Методы контроля параметров кабелей с секторными жилами.....	18
2.1 Разрушающий метод .....	18
2.2 Методы контроля толщины изоляции .....	18
2.2.1 Емкостной (контактный метод) измерения толщины изоляции .....	18
2.2.2 Ультразвуковой метод измерения толщины изоляции.....	20
2.2.3 Радиационный метод контроля изоляции .....	21
2.3 Методы контроля геометрических параметров секторных жил .....	22
2.3.1 Контактные методы .....	23
2.3.2 Бесконтактные методы.....	24
2.3.2.1 Радиационный метод измерения параметров .....	24
2.3.2.2 Ультразвуковой метод измерения параметров .....	25
2.3.2.3 Оптические методы .....	26
2.3.2.3.1 Метод измерения мощности потока излучения .....	26
2.3.2.3.2 Метод измерения сканированием.....	27
2.3.2.3.3 Теневой метод в квазипараллельном пучке .....	29
3. Примеры технологической реализации контроля геометрических параметров секторных жил.....	33
3.1 СМН-30П .....	33
3.2 ИД2-25.....	35
3.3 PROFILEMASTER .....	36
3.4 DVW/DVO .....	37
3.5 X-RAY 8000 NXT .....	38
4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	39
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	39
4.2 Анализ конкурентных технических решений .....	39
4.3 SWOT-анализ .....	41
5. Планирование научно-исследовательских работ .....	43
5.1 Структура работ в рамках научного исследование .....	43
5.2 Определение трудоёмкости выполнения работ.....	44
5.3 Разработка графика научного исследования .....	45



5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	49
5.4.1. Расчёт материальных затрат НТИ .....	49
5.4.2. Расчёт затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ.....	50
5.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы.....	51
5.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	53
5.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	53
5.4.6. Накладные расходы.....	54
5.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	55
6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	55
7. Социальная ответственность .....	58
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	58
7.2 Производственная безопасность.....	61
7.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	62
7.2.2 Повышенный уровень шума .....	63
7.2.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения .....	64
7.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	64
7.2.5 Перенапряжение зрительного анализатора .....	65
7.2.6 Умственное перенапряжение.....	65
7.2.7 Поражение электрическим током.....	66
7.2.8 Статическое электричество .....	66
7.2.9 Короткое замыкание .....	67
8. Экологическая безопасность .....	67
9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	68
10. Заключение по разделу.....	69
Заключение .....	70
Список используемой литературы .....	71

## **Введение**

Основным критерием при производстве протяжных продуктов, как кабели, является качество, которое улучшается за счет совершенствования технологии контроля как электрических, так и геометрических параметров. Контроль геометрических параметров позволяет снизить растраты сырья и материалов. Электрические параметры в свою очередь связаны с геометрическими, следовательно, нарушение допусков геометрических параметров приведет к нарушению в электрических, что недопустимо. Также необходимо измерять геометрические параметры в технологическом потоке.

В настоящее время широко используются кабели отличного от круглого сечения. У них имеется ряд преимуществ перед кабелями круглого сечения, в основном связанные с эксплуатацией. Также в настоящее время распространены в основном зарубежные системы контроля. Для российских потребителей они обладают рядом недостатков, таких как высокая стоимость и непригодные эксплуатационные характеристики.

Целью выпускной квалификационной работы было предложение методики для решения проблемы ротации секторной жилы во время контроля, а также выбор подходящих приборов и методов контроля геометрических параметров секторных жил.

## **1. Описание объекта контроля**

В данной работе объектом контроля является кабель с секторным сечением жилы. Кабель — тип линий передачи, устройство для передачи электромагнитной энергии или сигналов от одного объекта к другому. Любой электрический проводник, в том числе и кабель, состоит из следующих частей, далеко не всегда из всех сразу, может только из нескольких:

- Токоведущая жила. Является проводником тока и при этом обеспечивает низкий уровень нагревания. К ним устанавливаются следующие требования: хорошая гибкость, коррозионная стойкость, высокая электропроводность и низкая стоимость.
- Изоляция. Поверхностный слой на токоведущей жиле, обладающий максимально возможным сопротивлением проходящему по жиле электрическому току. Изоляционный слой должен обладать высокими диэлектрическими характеристиками, при этом в наиболее широком технически достижимом диапазоне температур. Помимо этого, изоляция должна быть эластичной.
- Экран. Нужен для предотвращения различных внешних электромагнитных помех. Главное требование к экрану — полное покрытие изоляции при изгибах.
- Поясная изоляция. Выполняет функцию вспомогательной защиты проводов и кабелей от пробоя.
- Оболочка. Предохраняет токопроводящую часть от механических повреждений и агрессивных проявлений окружающей среды (атмосферных явлений и проникновения влаги).
- Защитный покров. Добавочный поверхностный слой, используемый для эксплуатации кабелей в условиях отличных от нормальных (повышенная или пониженная температура, высокая влажность и др).

### **1.1. Технология производства кабелей**

Изготовление проводов и кабелей происходит на автоматизированной линии, где последовательно выполняются все этапы технологического процесса. В общем виде технология выглядит следующим образом. Первым этапом является первичная обработка сырья, из которого изготавливается токопроводящая жила кабелей. Сырьё

представляет собой грубую заготовку, из которой изготавливается проволока. Для выполнения этой операции применяются специальные волочильные машины, которые часто объединяются в комплексы, а сам процесс, соответственно, называется волочением. Со специальной технологической тары стренги подаются на экструзионную линию – комплекс оборудования, предназначенного для наложения на токопроводящие жилы кабелей изоляционных оболочек. Основным сырьем, используемым на данном этапе производства, является поливинилхлоридный пластикат в гранулах. Этот материал представляет собой смесь поливинилхлорида и ряда присадок (пластификаторов, наполнителей, стабилизаторов), которая производится методом полимеризации. Центральная часть экструзионной линии – экструдер: в этом устройстве происходит плавление гранул пластиката и выдавливание размягченной пластмассы через кольцевой зазор. Таким способом формируется оболочка, которая накладывается на жилу. За головкой экструдера располагается охлаждающая ванна, в которую попадают жилы будущего кабеля после нанесения на них изоляции. Эта ванна, наполняемая водопроводной водой, имеет значительную длину, благодаря чему изолированная жила при стандартной скорости нанесения изоляции успевает охладиться до 60-70°C. Понижение температуры до указанных значений перед выполнением следующих технологических этапов необходимо для предотвращения деформации изоляционной оболочки. При производстве многожильных кабелей их изолированные жилы скручиваются. Для выполнения этой операции применяются крутильные машины дискового типа, которые оснащаются подкручивающими механизмами. После скрутки заготовка поступает на экструзионную линию, где на нее описанным выше способом наносится общая оболочка. Готовый кабель подается на разбухтовку. При выполнении данного этапа изделие проходит через ОТК, после чего упаковывается и отгружается для реализации.

## **1.2 Виды кабелей**

Кабели по форме проводящей жилы бывают 2-х видов: круглого сечения и сложного сечения.

Кабели круглого сечения, в свою очередь подразделяются на однопроволочные и многопроволочные (Рисунок 1). А кабели сложного сечения подразделяются на: круглый с секторным сечением жил, круглый с несколькими жилами круглого сечения, плоский, треугольный, пятиугольный и т.д. (Рисунок 2)

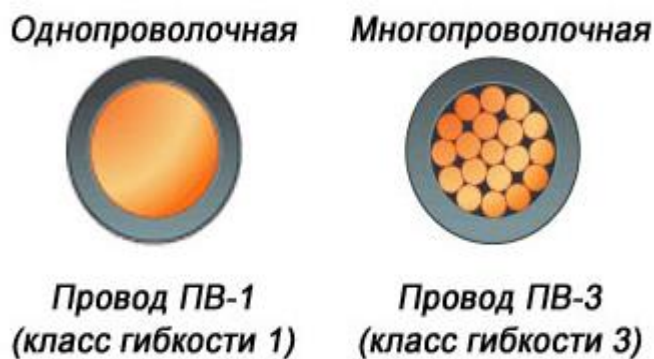


Рисунок 1 – Виды кабелей круглого сечения

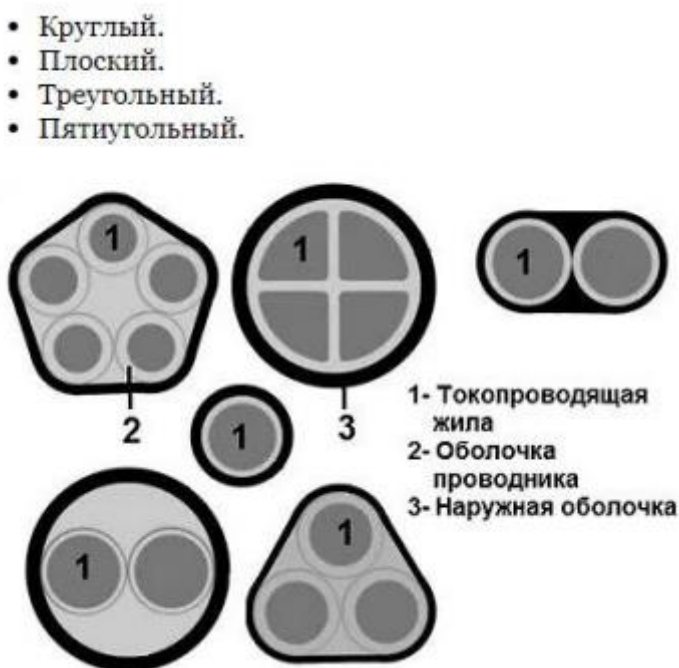


Рисунок 2 – Некоторые виды кабелей сложного сечения

### 1.3 Секторные жилы

Секторные жилы – токопроводящая фасонная жила формы сектора (сегмента) с закругленными углами (Рисунок 3). Фасонная жила - токопроводящая жила, у

которой поперечное сечение или поверхность, ограниченная контуром, описанным около поперечного сечения, имеет форму, отличную от круга.

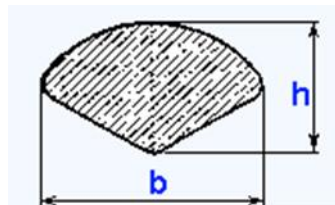


Рисунок 3 – Пример формы секторной жилы

Предназначены для использования в стационарном режиме в электрических сетях переменного напряжения частотой 50 Гц с изолированной или заземленной нейтралью. В силовых кабелях большого диаметра, преимущественно применяются жилы секторного сечения, а круглого не применяются. Кабели подразделяются на трёх- и четырёхжильные в зависимости от их номинального напряжения. Трёхжильный кабель – высоковольтный (6 - 10 кВ (фазы А, В, С)), а четырёхжильный кабель - низковольтный (до 1 кВ (те же А, В, С и нейтраль N)). В связи с обозначенными выше особенностями, для эффективного заполнения объёма существуют различные геометрические исполнения секторных жил для высоковольтных и низковольтных кабелей (Рисунок 4).

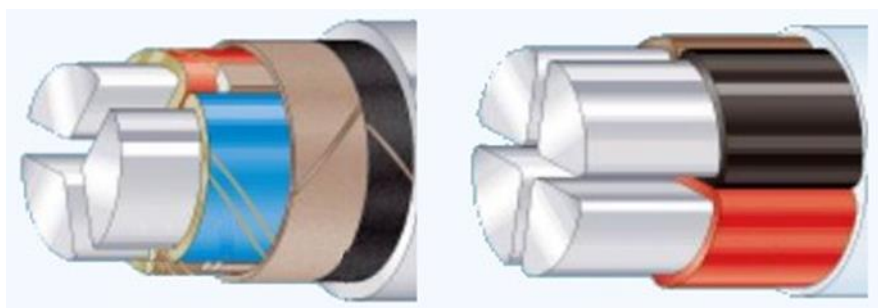


Рисунок 4 – Секторные жилы, слева для высоковольтных кабелей большого сечения, справа для низковольтных кабелей большого сечения

Преимуществами кабелей с секторными жилами перед кабелями с жилами круглого сечения:

- Снижение стоимости на 20% в сравнении с кабелями круглого сечения.
- Снижение расходов на транспортирование и хранение за счёт более компактной толщины кабелей.
- Уменьшение внешнего диаметра кабеля позволяет увеличить длину кабеля, который может быть намотан на тару (катушку), что позволяет уменьшить диаметр катушек и, соответственно, их количество. Данное преимущество позволяет экономить на транспортных и складских расходах.
- Удобство монтажа арматуры.
- Возможность отделить защитный экран от жилы без применения специального оборудования.
- Снижение отношения массы кабеля к его габаритным размерам при сохранении допустимых токовых нагрузок.
- Снижение массы в среднем составляет 40%.
- Снижение трудоёмкости процессов прокладки и монтажа кабельных линий электропередач.
- Повешенная гибкость по причине уменьшенного диаметра кабеля облегчает условия прокладки и монтажа кабельных линий.
- Увеличение надёжности кабельной линии.
- Увеличение строительной длины кабеля позволяет уменьшить количество соединительных муфт и снизить расходы на их приобретение. Условия эксплуатации и эффективное охлаждение улучшаются за счёт того, что кабели занимают меньше пространства в кабельных лотках.

## **2. Методы контроля параметров кабелей с секторными жилами**

### **2.1 Разрушающий метод**

Разрушающий метод контроля геометрических параметров секторных жил представлен в виде электронно-микроскопического исследования. Суть данного метода заключается в том, что от кабеля отрезается образец, параметры которого контролируются при помощи микроскопа. Недостатками данного метода, являются: остановка технического процесса производства кабеля, нарушение целостности изделия и необъективность данных, поскольку отклонение параметров от нормы могут находиться в ином отрезке кабеля.

### **2.2 Методы контроля толщины изоляции**

Контроль толщины изоляции кабельно-проводникового изделия уменьшает расход материалов на нанесение изоляции. Уменьшение расхода материалов, увеличивает объем производимой продукции.

#### **2.2.1 Емкостной (контактный метод) измерения толщины изоляции**

Автоматические емкостные измерители реагируют на изменение емкости при контроле толщины пластиката в кабелях, толщины изоляционной оболочки и центра проводящей жилы.

На схеме (рисунок 5) приведен емкостной измеритель толщины изоляции. Кабель состоит из пластикатной изоляции 2 и жилы из проводника 1. С двух сторон, в противоположных точках, к проводу приложены электроды 3 и 4.



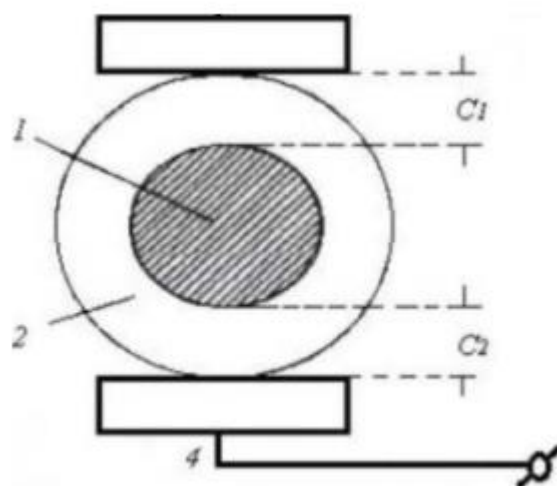


Рисунок 5 – Емкостной измеритель толщины изоляции

На схеме формируются два конденсатора, в каждом из которых обкладки представлены в виде токопроводящей жилы и электрода, а диэлектриком является изоляционный пластикат кабеля. Отклонение толщины изоляции приводит к изменению емкости датчиков. Отклонение емкости регистрируется с применением мостовых, дифференциальных, частотных или амплитудных электронных схем. Наиболее надежные и простые измерители основаны на дифференциальном и мостовом методах контроля. Стоит отметить, что для кабелей с секторными жилами данный метод пригоден только при контроле изоляции на отдельных жилах и датчики должны находиться у вершины, образующей угол и по касательной к округлой части жилы соответственно, также датчики следует располагать к каждой стороне этого сектора. Для контроля толщины изоляции в собранном кабеле этот метод не применим.

К слабым сторонам данный приборов относятся:

- 1) низкая точность показаний прибора при измерении малых толщин пластиката;
- 2) потребность в подаче высокочастотного тока;

3) высокая погрешность при наличии поверхностных загрязнений (остатков влаги, масла и др).

### 2.2.2 Ультразвуковой метод измерения толщины изоляции

Ультразвуковым методом измеряется внешний диаметр кабеля, толщина пластиката и эксцентricность проводящей жилы. Принцип работы измерителя состоит в отправке импульса на пьезоэлектрический датчик из процессора (рисунок 6). Звуковые волны улавливаются датчиком. При переходе волны между неоднородными средами часть энергии переходит на датчик. Волны отражаются от обоих слоёв – наружного и внутреннего. Поэтому на пьезоэлектрический датчик поступает две отраженные волны – эхо 1 и эхо 2. Толщину изоляции  $D$  рассчитывается по формуле  $v \cdot \Delta t / 2$ , где  $v$  – скорость распространения звука в материале;  $\Delta t$  – время между эхами. Данный метод, в отличие от предыдущего, применим в кабелях секторного сечения жил и для контроля изоляции отдельных жил, и для контроля изоляции собранного кабеля.

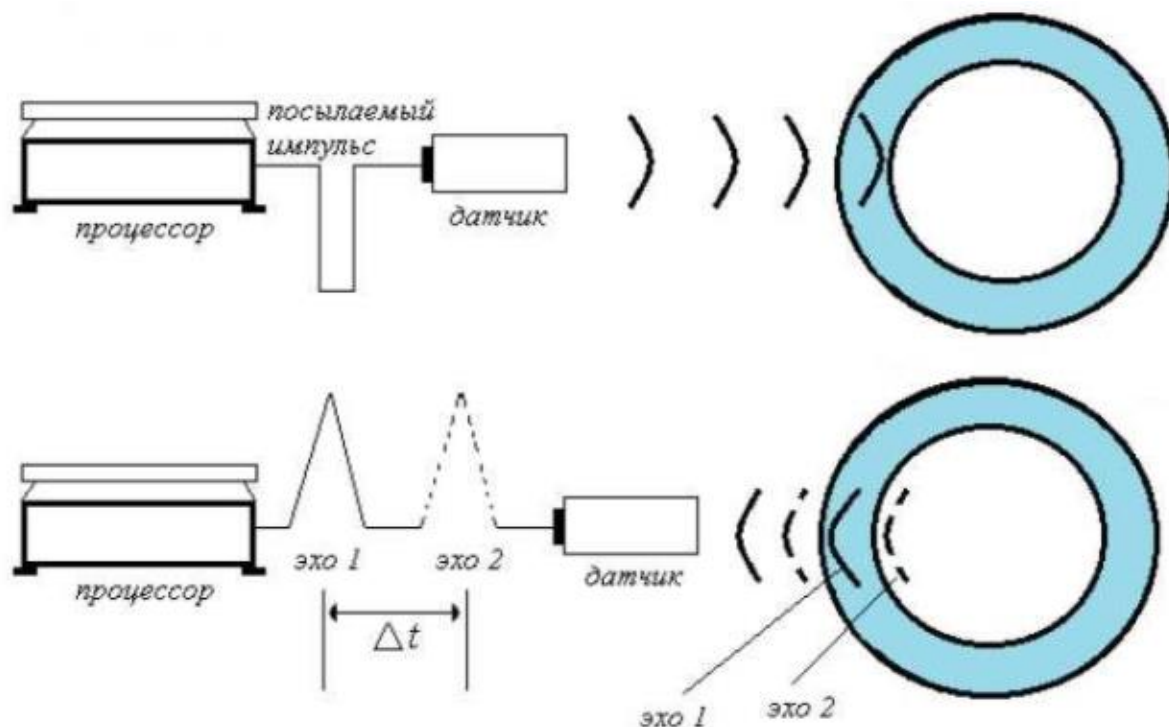


Рисунок 6 – Ультразвуковое измерение толщины полимерного пластиката

Существенным ограничением этого метода является необходимость изменения только в водной среде. Также к недостаткам относится то, что прибор нуждается в повторной калибровке при переходе на новый тип материала. Немаловажную роль в данной ситуации играет цена ультразвуковые приборы дороже, чем емкостные приборы.

### **2.2.3 Радиационный метод контроля изоляции**

Данный метод контроля изоляции основан на регистрации изображений рентгеновских снимков. Объект, подлежащий контролю, помещается в изолированную защитными стенками рабочую зону, чтобы лучи радиации не причиняли вреда организму оператора. В рабочей зоне находятся источник излучения в виде рентгеновской трубки и приёмник в виде пленки. Когда произведён снимок объекта данные с пленки считываются на компьютер и, при помощи программы «ISee» и эталона на снимке, производится масштабирование объекта и вычисление геометрических параметров. Стоит отметить, что для применения данного метода для измерения геометрических параметров изоляции секторных жил необходим многокоординатный рентгенографический измеритель геометрических параметров или же необходимо проведение нескольких измерений. Также метод применим как для измерения толщины изоляции жилы, так и для измерения толщины изоляции собранного кабеля.

Оценочное сравнение методов контроля изоляции секторных жил представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов контроля изоляции секторных жил

<b>Название метода</b>	<b>Емкостной метод</b>	<b>Ультразвуковой метод</b>	<b>Радиационный метод</b>
<b>Цена оборудования</b>	5	4	3
<b>Точность измерения</b>	3	4	5

<b>Необходимость подготовки поверхности для проведения контроля</b>	4	3	5
<b>Сложность обработки результатов измерений</b>	4	3	5
<b>Удобство применения к секторным жилам</b>	3	4	5

Исходя из оценок, представленных в таблице 1, можно сделать вывод что по многим параметрам радиационный метод измерения толщины изоляции превосходит остальные. Единственным недостатком является цена на оборудование для проведения контроля. Что касается остальных методов контроля, можно сказать, что оба метода имеют примерно одинаковую сумму баллов, но из-за того, что в некоторых пунктах эти методы имеют существенные недостатки, предпочтение отдается радиационному методу.

### **2.3 Методы контроля геометрических параметров секторных жил**

Все методы контроля геометрических параметров секторных жил подразделяются на контактные и бесконтактные. Контактные методы предполагают непосредственное соприкосновение датчика и объекта контроля. Бесконтактные – контакт датчика с объектом не требуется. Геометрические параметры, контролируемые в секторных жилах представлены на рис 3. Классификация измерителей геометрических размеров представлена рис 7.



Рисунок 7 – Классификация методов измерения геометрических параметров кабелей

### 2.3.1 Контактные методы

Контактные измерители геометрических параметров основаны на простейших механических датчиках перемещения и контактных микрометрах. Подвижный щуп, перемещения которого фиксируется микрометром или датчиком перемещения, меняет своё положение при изменении геометрических параметров кабеля. Показания микрометра или датчика отображаются на табло или шкале в виде преобразованных данных. Схема контактного устройства приведена на рисунке 8.

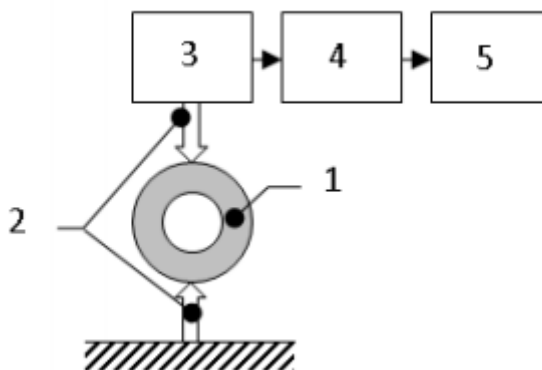


Рисунок 8 – Структурная схема контактного метода измерения, где: 1 – объект контроля; 2 – чувствительный элемент; 3 – преобразователь; 4 – вторичный электронный прибор; 5 – индикатор.

Чаще всего в роли измерительных преобразователей в данном случае выступают электрические и механические датчики

Главными недостатками подобных методов измерения являются: недолгий срок службы; большая погрешность измерения; высокое влияние внешних факторов; физическое соприкосновение с проводящими жилами, что является причиной взаимного стирания щупом кабеля и наоборот. Данные недостатки оказывали большое влияние на качество продукта и поэтому, со временем, от применения контактных методов отказались, а разработки в этой области признаны бесперспективными.

### **2.3.2 Бесконтактные методы**

Бесконтактные методы получили широкое применение в измерителях, так как они имеют отличные метрологические характеристики, а также они просты в эксплуатации. Для бесконтактного измерения геометрических параметров секторных жил широко применяются оптикоэлектронные приборы, ультразвуковые приборы, рентгенографические приборы. В оптикоэлектронных приборах используются кодированные оптические шкалы, принципы амплитудной и импульсной модуляции, реализуемые на основе применения лазерной техники, микроэлектроники и микроконтроллеров. В ультразвуковых приборах для контроля геометрических размеров используются принцип, основанный на эхо-импульсном методе.

По результатам обзора бесконтактных методов измерения геометрических параметров секторных жил было идентифицировано пять вариантов для проведения контроля. У выявленный вариантов высокая точность, быстроедействие и уровень помехозащищённости.

#### **2.3.2.1 Радиационный метод измерения параметров**

Данный метод основан на измерении геометрических параметров секторных жил при помощи рентгеновских снимков. Объект, который подлежит измерению,

помещается в рабочую зону, которая изолирована свинцовыми стенками, чтобы лучу радиации не наносили вреда организму оператора. В рабочей зоне находятся источник излучения в виде рентгеновской трубки и приёмник в виде пленки. Когда объект проконтролирован данные с пленки считываются на компьютер и, при помощи программы «ISee» и эталона на снимке, производится масштабирование объекта и вычисление геометрических параметров. Стоит отметить, что для применения данного метода для измерения геометрических параметров секторных жил необходим двухкоординатный рентгенографический измеритель геометрических параметров.

### **2.3.2.2 Ультразвуковой метод измерения параметров**

Принцип работы данных измерительных устройств основан на эхо-импульсном методе, который заключается в измерении времени между импульсом излучателя и импульсом, отраженным от границы раздела сред и затем поступающим на приемник. Скорость распространения ультразвука в среде считается известной и постоянной величиной. Сам преобразователь имеет в своем составе пьезоэлектрический кристалл, который излучает звуковую волну после приложения к нему очень короткого импульса напряжения. Форма линзы влияет на звуковую волну, исходящую от преобразователя, которая проходит через воду к поверхности объекта контроля.

Эхоимпульс фиксируется пьезокерамическим датчиком. Далее рассчитывается время между излучаемым и принимаемым импульсами. Зная скорость и время между импульсами вычисляется расстояние  $L_1$  до объекта контроля, применяя два одинаковых преобразователя, расположенных на заданном расстоянии  $L$ , то представляется возможным вычислить размер объекта контроля как  $D=L-(L_1+L_2)$ .

Также имеется возможность обеспечить многокоординатное измерение диаметра, установив несколько пар преобразователей в нескольких плоскостях сечения. Такая возможность очень полезна при измерении взаимоперпендикулярных геометрических величины. Для определения геометрических параметров секторных жил необходимо устанавливать преобразователь на уровне требуемого размера.

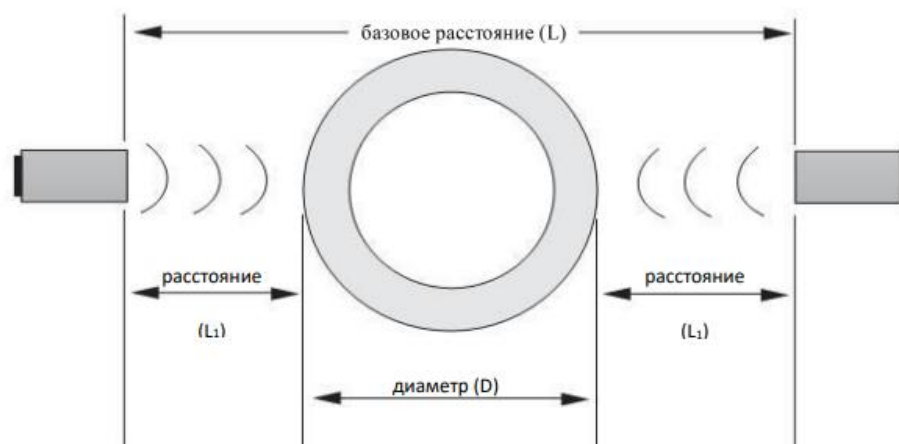


Рисунок 9 – Схема ультразвукового метода контроля геометрических размеров секторных жил

### 2.3.2.3 Оптические методы

Самыми распространёнными методами определения геометрических параметров секторных жил являются оптические методы, поскольку они наиболее точные и более просты в проведении.

#### 2.3.2.3.1 Метод измерения мощности потока излучения

Основой представленного метода базируется на том, что фотоприёмник воспринимает излучение, мощность которого подвергается измерению. Параллельный световой поток протекает через рабочую зону, в которую помещается объект контроля, загромождавая часть света, попадающего на фотоприёмник, он уменьшает мощность излучения, попадающую на фотоприёмник. Для измерения геометрических параметров секторных жил недостающая мощность преобразовывается в геометрический параметр. Следует сказать, что применимость данного метода для измерения геометрических параметров секторных жил определяется наличием функции изменения направления излучения и (или) многокоординатного измерителя.



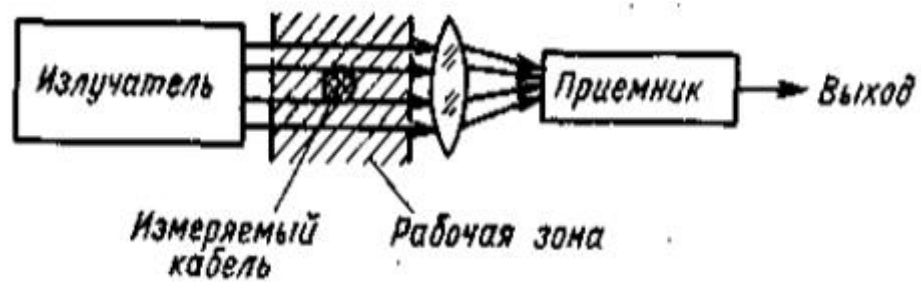


Рисунок 10 – Схема метода измерения мощности потока излучения

Представленная схема может быть использована только при условии наличия источника стабильной постоянной излучательной способностью и приёмник излучения с постоянной чувствительностью, что в нелабораторных условиях сложнодостижимо из-за внешних факторов нарушения стабилизации. Поэтому прибору требуется постоянная калибровка и уменьшается точность измерения. Данный метод имеет ограничения мобильности из-за необходимости измерения постоянной мощности.

Представленный метод является одним из ранних оптических методов контроля геометрических параметров объектов, по причине недостатков, описанных выше, имеет малое применение в приборах контроля.

#### 2.3.2.3.2 Метод измерения сканированием

Устройство (рис. 11), реализующее данный метод, содержит сканирующий узел, создающий тонкий луч, равномерно перемещающийся с постоянной скоростью  $V$  в зоне измерения шириной  $W$ . Пересекая измеряемый объект, луч прерывается, и на фотоприемнике, воспринимающем излучение, возникает импульс, длительность которого равна времени движения луча  $t$  в поперечном сечении объекта измерения. Длительность импульса фотоприемника измеряется и пересчитывается в длину измеряемого объекта по следующей формуле (1):

$$D = \frac{t}{T} \cdot W \quad (1)$$

где  $T$  – это период сканирования всей рабочей зоны.

Так как время движения луча  $t$  зависит от собственной скорости движения измеряемого объекта  $v$ , расчёты по этой формуле будут верны только в том случае, когда скорость движения измеряемого объекта  $v$  будет равна нулю.

$$t = \frac{D}{V \pm \underline{v}}; \quad (2)$$

Если  $v = 0$ , то

$$t = \frac{D}{V} \quad (3)$$

В качестве источников излучения в подобных оптических схемах используют компактные полупроводниковые лазерные модули. Перемещение луча в зоне осуществляется вращающимся шестигранным зеркалом. Для использования этого метода для измерения геометрических размеров секторных жил необходимо, чтобы источник излучения и приёмник находились параллельно измеряемому размеру. Также необходимо чтобы было либо 2 установки, либо чтобы у установки была функция поворота хотя-бы на  $90^\circ$ .

Технология позволяет измерять изделия любого цвета и из любого материала, в том числе прозрачного. [3]

При сильных вибрациях кабеля погрешность может возрасть, поэтому кабель нужно дополнительно стабилизировать.

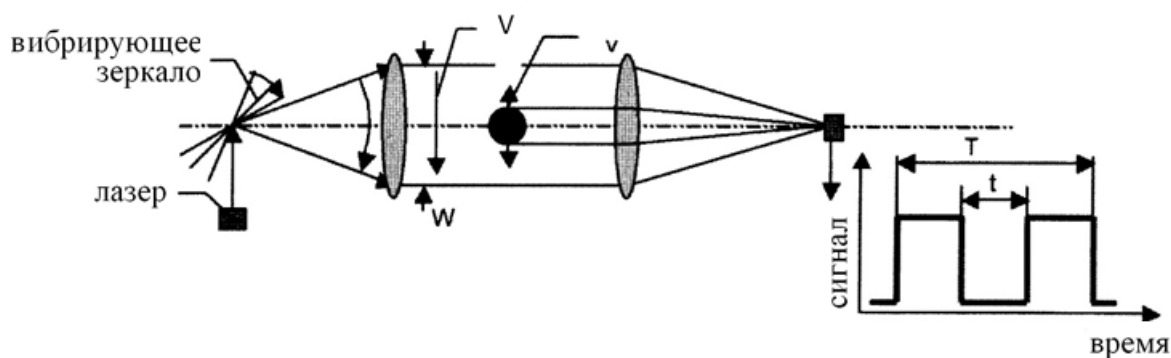


Рисунок 11 – Схема со сканирующим узлом

К достоинствам данного метода можно отнести большой диапазон измерения, высокую скорость измерения и малую погрешность. Недостатком является высокая цена устройства из-за необходимости использования лазерного модуля в качестве источника излучения. Кроме того, наличие подвижных узлов механизма требует их высококачественного изготовления для получения требуемого ресурса работы.

### 2.3.2.3 Теневой метод в квазипараллельном пучке

Оптическая схема данного метода изображена на рис. 12. Излучатель с помощью оптической системы коллиматора создает в рабочей зоне пучок света, близкий к параллельному. Сквозь рабочую зону горизонтально движется измеряемый объект, его тень попадает на многоэлементный фотоприемник, ячейки которого расположены вертикально в линию. Число затемненных ячеек  $n$  фотоприемника, помноженное на ширину одной ячейки  $l$ , соответствует диаметру кабеля и может быть подсчитано при опросе ячеек по следующей формуле (4):

$$D = n \cdot l. \quad (4)$$

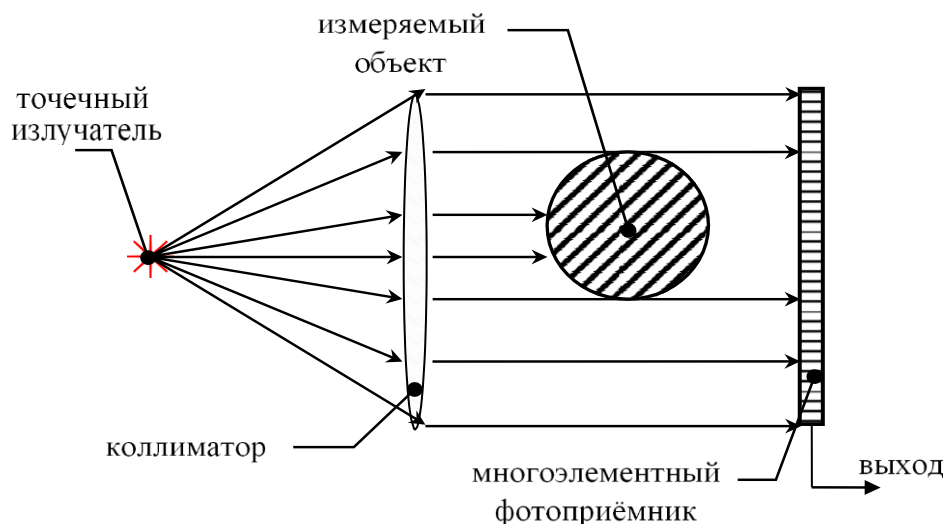


Рисунок 12 – Схема теневых метода в квазипараллельном пучке

Современные линейные многоэлементные фотоприёмники имеют размер ячейки от 2 до 60 мкм. Это даёт возможность обеспечивать соответствующую погрешность измерения.

В качестве источника излучения могут быть использованы лампа накаливания, одиночный светоизлучающий диод, излучение которых приводится к точечному источнику дополнительной оптикой, или полупроводниковый лазерный модуль.

Основной вклад в погрешность при использовании данного метода вносит неидеальность оптической системы коллиматора, который преобразует свет от точечного источника в квазипараллельный пучок. Ввиду наличия aberrаций и погрешности юстировки световой поток в рабочей зоне отличен от параллельного. Это достаточно сильно влияет на погрешность измерения при перемещениях измеряемого объекта в рабочей зоне. Чем больше зона измерения, тем шире должна быть апертура коллиматора, но при увеличении апертуры влияние этого вида ошибки на результат измерения увеличивается, даже несмотря на то, что используется фотоприёмная линейка с более мелким шагом. По этой же причине метод непригоден для измерения малых объектов диаметром меньше 0,5 мм, так как величина погрешности получается сопоставимой с диаметром объекта измерения. Таким образом, данный метод применим для измерений в диапазоне диаметров приблизительно от 1 до 30 мм. Однако данный метод отличается от предыдущей более высокой надёжности благодаря отсутствию механических подвижных элементов и меньшим влиянием помех, так как не требует проведения амплитудных и временных измерений. Для использования данного метода при измерении геометрических размеров секторных жил необходимо, чтобы коллиматор и фотоприёмник находились параллельно измеряемому размеру. Также для работы с секторными жилами требуется либо две установки, либо чтобы установка могла поворачиваться как минимум на 90 градусов.

В таблице 2 приведено оценочная характеристика методов контроля геометрических параметров секторных жил.

Таблица 2 – Оценочная характеристика методов контроля геометрических параметров секторных жил

<b>Название метода</b>	Разрушающий контроль (микроскопия)	Контактный метод	Радиационный метод	Ультразвуковой метод	Измерение мощности потока излучения	Сканирование	Теневой метод в квазипараллельном пучке
<b>Цена оборудования</b>	5	5	2	3	4	4	4
<b>Точность измерения</b>	5	2	5	3	5	4	5
<b>Необходимость подготовки поверхности для проведения контроля</b>	5	4	5	3	5	5	5
<b>Сложность обработки</b>	5	5	5	4	5	5	5

<b>результатов измерений</b>							
<b>Применимость к секторным жилам во время производства</b>	2	3	5	4	5	5	5

Исходя из, приведенных в таблице 2, оценок, можно сказать, что из представленных методов контроля геометрических параметров секторных жил наиболее высоко оценены оптические и радиационные методы контроля. Данные методы имеют преимущества по многим показателям, самым важным из которых является применимость метода к измерению геометрических параметров секторных жил во время производства, поскольку именно благодаря этому параметру можно получить высококачественный продукт.

### **3. Примеры технологической реализации контроля геометрических параметров секторных жил**

Ввиду того, что секторные жилы необходимо контролировать в двух координатных плоскостях, поскольку геометрические параметры, подлежащие контролю, расположены перпендикулярно относительно друг другу, необходимо чтобы система измерений либо была многокоординатной, либо в системе измерения должна предполагаться функция поворота.

#### **3.1 СМИ-30П**



Рисунок 13 – Внешний вид прибора СМИ-30П

Многокоординатный измеритель производства компании «Электонт» конструктивно состоит из однокоординатной измерительной головки,

установленной на поворотном устройстве. После измерения первой координаты поворотное устройство поворачивает измеритель на заданный угол и производится измерение по следующей координате и так далее. Число точек и их координаты (угол поворота головки относительно кабеля) задаются в меню настроек прибора.

Измерение наружных геометрических размеров объекта основано на принципе сканирования лазерным лучом объекта и получении на фотоприемнике сигнала, временная диаграмма которого соответствует пространственной свето-теневой картине, проецируемой лучом. Измерение геометрии светотеневой картины производится косвенно измерением временных параметров получаемого фотоприемником сигнала.

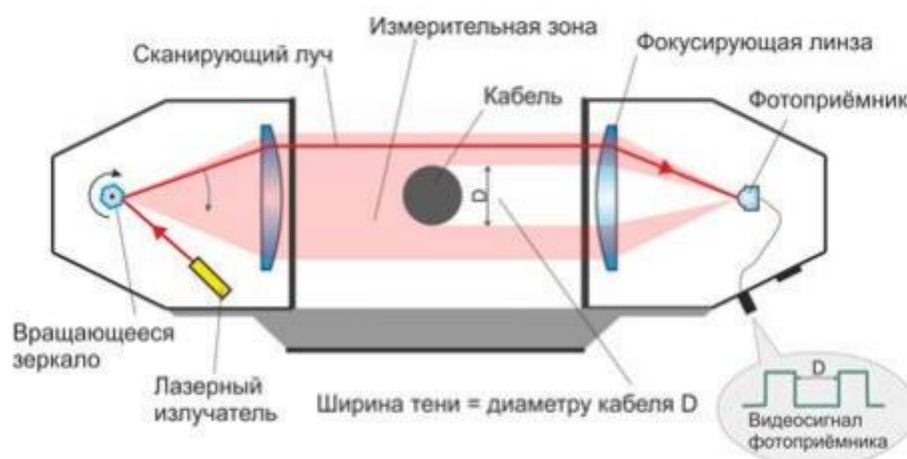


Рисунок 14 – Принцип работы прибора СМН-30П

При измерениях сложных профилей, например секторных жил, число координат измерения должно быть больше двух. В таких случаях целесообразно применение многокоординатного измерителя.

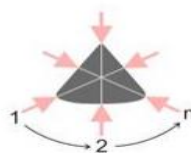


Рисунок 15 – Принцип многократного измерения



### 3.2 ИД2-25

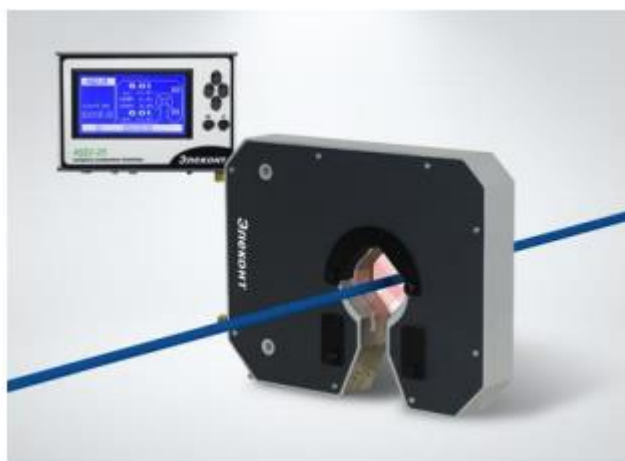


Рисунок 16 – Внешний вид прибора ИД2-25

Прибор от того же производителя, что и предыдущий, предназначен для бесконтактного измерения наружных размеров изделий круглой и не круглой формы, таких как: провода, кабели, шланги, рукава, трубы, проволока, параметры секторных жил и др. непосредственно в процессе их производства. Два независимых лазерных луча сканируют изделие в направлении осей, расположенных под углом  $90^\circ$  друг к другу, получая таким образом два взаимоперпендикулярных размера. Для достоверных измерений параметров секторных жил ось сечения кабеля должна быть выровнена параллельно оси измерения с помощью направляющего ролика.

Возможность измерять параметры некруглого сечения предоставляется благодаря параллельному сканирующему лучу.



Рисунок 17 – Принцип измерения кабелей с некруглым профилем жил

### 3.3 PROFILEMASTER



Рисунок 18 – Внешний вид измерительного модуля системы PROFILEMASTER

Измерительный модуль от компании «Zumbach» состоит из лазера и следящей камеры, которая предназначена для отслеживания поперечного сечения объекта контроля. Картина сечения объекта отображается на экране, изображение на которые поступает с процессора. Соответствующие геометрические размеры (радиус, ширина высота и т.д.) постоянно выводятся на дисплей, и при превышении измеряемых показателя производится аварийный сигнал. Точному измерению могут быть подвержены подавляющее большинство материалов (исключениями являются разве что абсолютно прозрачные тела и абсолютно отражающие тела).

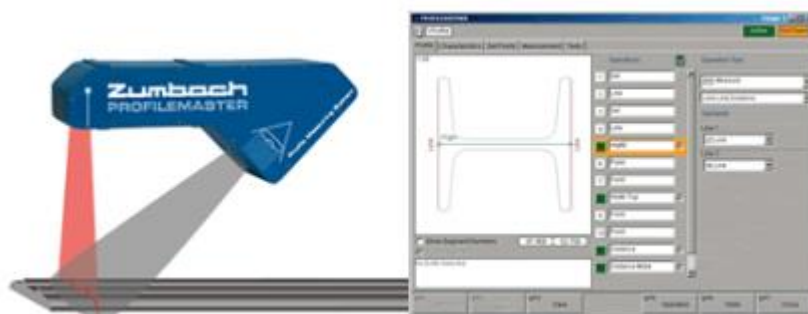


Рисунок 19 – Принцип измерения с помощью системы PROFILEMASTER

### 3.4 DVW/DVO



Рисунок 20 – Внешний вид измерительного модуля системы DVW/DVO

Система измерения высоты и ширины профилей от компании «Zumbach» предназначена для независимого от расположения и степени вращения изделия сканирования геометрических параметров. Система сочетает в себе и поворотную головку и 2 перпендикулярных сканирующих луча. Также данная система имеет возможность программирования на выявление минимального значения отклонения и подаст сигнал если отклонения превысят это минимальное значение. Ко всему прочему данное устройство не нуждается в дополнительной электронике и питается от процессорного блока, которым и управляется.

### 3.5 X-RAY 8000 NXT



Рисунок 21 – Внешний вид системы X-RAY 8000 NXT

Система контроля эксцентricности, толщины изоляции и геометрических параметров жил от компании «Sikora» использует радиационный метод контроля. Благодаря Восьми-координатным измерениям проводится очень точное и крайне помехоустойчивое измерение. В системе используются: рентгеновские лампы с длительным сроком службы, керамические защитные окна от проникновения радиации в помещение, сенсорный экран для управления. Благодаря прямому подключению управляющего сенсорного дисплея измеренные значения выводятся сразу на экран.

В таблице 3 отображены критерии для сравнения приборов для контроля геометрических параметров секторных жил, также каждый из параметров оценён по пятибалльной шкале.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики приборов для измерения геометрических параметров секторных жил

Наименование прибора	СМИ-30П	ИД2-25	PROFILEMASTER	DVW/DVO	X-RAY 8000 NXT
----------------------	---------	--------	---------------	---------	----------------

<b>Цена</b>	5	5	4	4	3
<b>Диапазон измерений</b>	3	3	5	5	5
<b>Многокоординатность</b>	1	4	2	5	5
<b>Подвижность системы</b>	4	1	4	5	2
<b>Погрешность</b>	1	2	3	4	5

Исходя из результатов, представленных в таблице 3, системы измерения геометрических систем «DVW/DVO» и «X-RAY 8000 NXT» имеют преимущество по многим показателям перед остальными системами измерения. Поэтому в подборе систем измерения геометрических параметров секторных жил предпочтение будет отдано именно им.

#### **4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

##### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования был рассмотрен рынок по методам неразрушающего контроля геометрических параметров секторных жил. По результатам анализа были выявлены предприятия, заинтересованные в контроле секторных жил, ими являются такие предприятия как: НПО «Редвилл»; ООО «Томсккабель»; АО «Сибкабель».

При контроле геометрических параметров секторных жил чаще всего используются 3 метода: оптический, ультразвуковой, рентгенографический. Самым универсальным из них является оптический метод контроля.

##### **4.2 Анализ конкурентных технических решений**

Для усиления конкурентоспособности данного исследования был проведён анализ конкурирующих способов технической диагностики. В качестве конкурентов возьмём следующие виды диагностики: рентгенографический и ультразвуковой контроль.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Энергоэкономичность	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
4. Надежность	0,05	4	5	2	0,2	0,25	0,1
5. Уровень шума	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
6. Безопасность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
7. Функциональная мощность	0,04	5	5	2	0,2	0,2	0,08
8. Простота эксплуатации	0,08	4	2	5	0,32	0,16	0,4
9. Возможность подключения к ПК	0,1	5	2	1	0,5	0,2	0,1
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	4	5	5	0,24	0,3	0,3
3. Цена	0,1	4	3	3	0,3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	4	5	0,24	0,24	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>55</b>	<b>51</b>	<b>46</b>	<b>4,37</b>	<b>3,79</b>	<b>3,45</b>

Как видно из таблицы, по многим параметрам оптическое исследование выигрывает в контексте контроля геометрических параметров секторных жил. Из очевидных преимуществ можно выделить возможность подключения к ПК, что даёт больше возможностей для обработки результатов исследования и для программирования датчиков на следование за подвижными в пространстве секторным жилам. Также существенным преимуществом является цена на оптические дефектоскопы относительно остальных и это помимо того что для проведения оптического контроля требуется только дефектоскоп без дополнительного оборудования. Из существующих недостатков можно

выделить уровень проникновения на рынок – остальные методы давно прижились на рынке, в то время как оптические методы находятся на начальном уровне уверенного проникновения на рынок лишь в связи с развитием цифровых технологий.

#### 4.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Первый этап SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1 Универсальность и простота метода С2 Отсутствие отходов после проведения контроля С3 Широкий спектр возможностей для анализа полученных данных	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1 Жесткие требования к состоянию окружающей среды и частоте поверхности изделия Сл2 Необходимость освоения ПО Сл3 Достаточно сильная восприимчивость к помехам
<b>Возможности:</b> В1 Увеличение спроса из-за простоты метода и появления новых цифровых приборов В2 Увеличение количества сфер для применения		
<b>Угрозы:</b> У1 Большой спрос у других методов У2 Метод не получит нужной огласки		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	-	+
	B2	+	+	+
Слабые стороны				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
Сильные стороны				
Угрозы		C1	C2	C3
	У1	-	-	-
	У2	-	-	-
Слабые стороны				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	+

Далее, в рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 4.



Таблица 4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1 Универсальность и простота метода С2 Отсутствие отходов после проведения контроля С3 Широкий спектр возможностей для анализа полученных данных	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1 Жесткие требования к состоянию окружающей среды и частоте поверхности изделия Сл2 Необходимость освоения ПО Сл3 Достаточно сильная восприимчивость к помехам
<b>Возможности:</b> В1 Увеличение спроса из-за простоты метода и появления новых цифровых приборов В2 Увеличение количества сфер для применения	Универсальность и простота метода, широкий спектр возможностей для анализа полученных данных, а также отсутствие отходов после проведения контроля увеличит спрос и количество сфер применения	Разработка новых более устойчивых к помехам приборов и увеличение популярности метода создаст нужную конкуренцию между разработчиками для упрощения интерфейса ПО
<b>Угрозы:</b> У1 Большой спрос у других методов У2 Метод не получит нужной огласки	Сильные стороны данного метода могут привести к увеличению спроса у специалистов	Популярность других методов, особенно в которых не нужно освоение ПО, наличие у них стандартизации может не допустить увеличение популярности метода или даже к потере занятой ниши рынка

## 5. Планирование научно-исследовательских работ

### 5.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Это отражено в табл. 5.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, консультант

			ЭЧ, СО, студент
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов	Студент
	6	Проведение экспериментов	Студент
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент, руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, студент
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Исследование оптического метода	Студент
	11	Оценка эффективности применения метода	Студент, консультант по ЭЧ
	12	Разработка раздела «социальная ответственность» по теме	Студент, консультант СО
Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Студент

## 5.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты являются одним из основных факторов, влияющих на стоимости разработки, исходя из этого можно сделать вывод, что важным моментом будет определение трудоемкости работ каждого участника научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспериментальным путем и характеризуется такой величиной, как человеко–дни и она носит вероятностный характер, это обусловлено зависимостью от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожи}$  используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.3 Разработка графика научного исследования

Проведения научных работ, можно наиболее наглядным и удобным способом представить в виде построения ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 6.










Таблица 6 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{\min}$ , чел-дни	$t_{\max}$ , чел-дни	$t_{\text{ожид.}}$ , чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель, консультант ЭЧ, СО, студент	0,45	1
Подбор и изучение материалов по теме	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Выбор направления исследований	1	2	1,4	Руководитель, студент	0,7	1
Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	Руководитель, студент	0,7	1
Проведение теоретических расчетов	1	2	1,4	Студент	1,4	2
Проведение экспериментов	4	9	6	Студент	6	9
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	2	4	2,8	Студент, руководитель	1,4	2
Оценка эффективности полученных результатов	1	2	1,4	Руководитель, студент	0,7	1
Определение целесообразности проведения ВКР	4	7	5,2	Руководитель, студент	2,6	4
Исследование оптических методов	3	8	5	Студент	5	7

Оценка эффективности применения метода	7	12	9	Студент, консультант по ЭЧ	4,5	7
Разработка раздела «социальная ответственность» по теме	7	12	9	Студент, консультант СО	4,5	7
Составление пояснительной записки	10	15	12	Студент	12	18

На основе таблицы 6 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 7 с разбивками по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения ВКР.

Таблица 7 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, консультант ЭЧ, СО, студент	1														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	5														
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	1														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент	1														
5	Проведение теоретических расчетов	Студент	2														
6	Проведение экспериментов	Студент	9														
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент, руководитель	2														
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент	1														



где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таким образом:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх i} = (1 + 0,15) \cdot \sum_{i=1}^3 85 \cdot 1 = 293,25 \text{ руб.}$$

Вторым исполнением проекта можно посчитать использование кабелей от «Томсккабель».

Тогда материальные затраты:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх i} = (1 + 0,15) \cdot \sum_{i=1}^3 95 \cdot 1 = 327,75 \text{ руб.}$$

#### 5.4.2. Расчёт затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

В данной части отображены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме.

Все расчёты по приобретению спецоборудования сведены в таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1.	Учебный экструдер для каюбеля	1	2000	2000
2.	Лазерный	1	20	20



	измеритель диаметра ИД2-25			
3.	Ноутбук HP laptop 14s-fq0082ur	1	27	27
Итого:				2047

### 5.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данной статье отображена основная заработная плата работников, участвующих в выполнении работ по данной теме.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 7);

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 9).

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней	52	52	52	52
- выходные дни	14	14	14	14
- праздничные дни				
Потери рабочего времени	48	48	48	48
- отпуск	7	7	7	7
- невыходы по болезни				
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245	245	245

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $З_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $З_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $З_{\text{тс}}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{\text{с1}} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_{\text{т}}$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_{\text{т}}$	$З_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб.	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	15	7,36	4416	0,3	0,2	1,3	8611,2	393,65	6,55	2578,4
Студент	6	2,44	1464				2854,8	130,5	43,15	5631
Консультант ЭЧ	17	9,07	5442				10611,9	485,12	4,95	2401,3
Консультант СО	14	6,51	3906				7616,7	348,192	4,95	1723,55

Итого $Z_{\text{осн}}$	12334,25
------------------------	----------

#### 5.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Общая заработная плата исполнителей работы представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Общая заработная плата исполнителей:

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$ , руб.	$Z_{\text{доп}}$ , руб.	$Z_{\text{зн}}$ , руб.
Руководитель	2578,4	386,76	2965,16
Студент	5631	844,65	6475,65
Консультант ЭЧ	2401,3	360,195	2761,5
Консультант СО	1723,55	258,53	1982,08
<b>Итого</b>	<b>12334,25</b>	<b>1850,135</b>	<b>14184,39</b>

#### 5.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2021 г. размер страховых взносов равен 22%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	2578,4	386,76
Студент	5631	844,65
Консультант ЭЧ	2401,3	360,195
Консультант СО	1723,55	258,53
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,22	
Итого 3120,57		

#### 5.4.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5),$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов бралась в размере 16%.

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}1} &= 0,16 \cdot (293,25 + 2048000 + 12334,25 + 14184,39 + 3120,57) \\ &= 332469,19 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} З_{\text{накл}2} &= 0,16 \cdot (327,75 + 2048000 + 12334,25 + 14184,39 + 3120,57) \\ &= 332474,71 \text{ руб.} \end{aligned}$$

#### 5.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнению приведёт в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
1. Материальные затраты НТИ	293,25	327,75	Пункт 2.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	2048000		Пункт 2.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	12334,25		Пункт 2.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14184,39		Пункт 2.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	3120,57		Пункт 3.4.5
6. Накладные расходы	332469,19	332474,71	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	2410401,65	2410441,67	Сумма ст. 1- 6

#### 6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки; устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
3. Помехоустойчивость	0,15	2	2
4. Энергосбережение	0,20	4	4
5. Надежность	0,25	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	4
ИТОГО	1	4,00	4,17

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности, можно сделать вывод, что реализация исследования во втором исполнении

является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки(  $I_{исп.}$  ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр.2}}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл. 15) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	0,84
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,00	4,17
3	Интегральный показатель эффективности	5,06	5,54
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,91

Из проведённого сравнительного анализа интегральных показателей эффективности следует вывод, что предпочтительным является первый вариант исполнения, так как является более экономичным и ресурсоэффективным.

Таким образом в ходе написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены: проведено сегментирование рынка, составлена матрица SWOT анализа, определены

структура работ в рамках научного исследования, трудоемкость выполнения работ и разработан график проведения научного исследования, определены риски проекта, определена ресурсная (ресурсосберегающей) эффективность.